

Fabrication et caractérisation de matrices bidimensionnelles d'éléments de micro-optique

Jean-Luc Néron et Michel Piché
Université Laval, Québec, Canada

Objectifs:

- Validation de l'efficacité de la méthode de fabrication
- Optimisation du procédé afin d'obtenir des matrices de micro-lentilles avec un profil sphérique et conique
- Caractérisation du profil des dépôts
- Caractérisation des faisceaux générés par les matrices de micro-lentilles sphériques et de micro-axicons
- Suggérer et tester quelques applications

Méthode de fabrication:

Paramètres expérimentaux:

- Diamètre de la source (ϕ_{source}) = 8.5 mm
- Distance source/masque (d_1) = 200 mm
- Distance masque/substrat (d_2) = 2 - 6 mm
- Rayon de la trajectoire circulaire (r) = 0 - 125 μ m

Masque:

- Matrice hexagonale de 22x24 trous
- Diamètre des trous = 250 μ m
- Distance centre-à-centre = 500 μ m
- Matériau: Acier inoxydable
- Épaisseur = 13 μ m (masque mince)

Matériau dépôt:

- Monoxyde de silice (SiO₂)
- $n = 1.976$ ($\lambda = 633$ nm)
- %T = 90% ($\lambda = 633$ nm)

*Autres matériaux testés: MgF₂ et TiF₂.

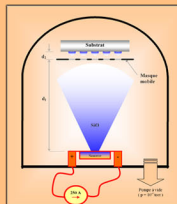


Figure 1. Montage du système de dépôt de couches minces avec masque mobile

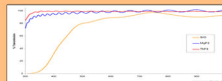


Figure 2. % de transmission vs longueur d'onde ($\lambda = 5$ μ m)

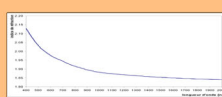


Figure 3. Courbe de la relation de dispersion du SiO₂
* source: S.O. Park, "Handbook of optical constants of solids"

Calcul théorique de la distribution du dépôt à travers un masque:

$$T(x_0, y_0) = \iint \frac{A(\theta) \cos \theta}{R^2} G \cdot dy dx$$

$$G = \begin{cases} 1 & \text{if } |LS| < 0 \\ 0 & \text{if } |LS| \geq 0 \end{cases}$$

$$LS = \left(\frac{x_0 - x_1}{z_1} \right)^2 + \left(\frac{y_0 - y_1}{z_1} \right)^2 - r^2(z)$$

$A(\theta)$ = angular emission of the source - $\cos^2 \theta$
 R = Back mask edge contour
 W = mask entrance window

Figure 4. Prédiction théorique de la distribution du dépôt à travers un masque

Caractérisation:

- 1) Profilomètre (mesure le profil d'épaisseur du dépôt)
- 2) Imagerie (mesure l'intensité transmise vs propagation; $I(r,z)$)
- 3) Interférométrie Twyman-Green (mesure la focale et le rayon de courbure)

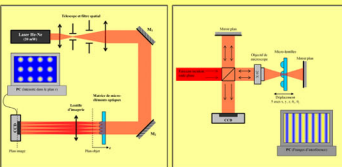


Figure 5. Schéma du montage d'imagerie

Figure 6. Interféromètre Twyman-Green

Micro-lentille:

- Profil quasi-parabolique sur 125 μ m de rayon
- Diamètre à la base: 500 μ m
- Épaisseur au centre: 0.5 - 20 μ m
- Distance focale (f): 0.8 - 30 mm
- Ouverture numérique (NA): 0.01 - 0.30

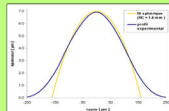


Figure 7. Profil d'une micro-lentille de rayon de 125 micromètres

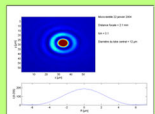


Figure 8. Faisceau généré au foyer de la micro-lentille de la Figure 7

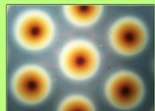


Figure 9. Image au microscope 10X d'une partie de la matrice de micro-lentilles du 22 janvier 2004

Micro-axicon:

- Profil quasi-conique (sauf la partie centrale)
- Diamètre à la base: 475 μ m
- Épaisseur au centre: 0.5 - 20 μ m
- Angle de l'axicon (α): 0.1 - 5°
- Profondeur de champ (Z_{max}): 3 - 100 mm

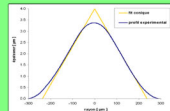


Figure 10. Profil d'un micro-axicon de rayon de 19 micromètres

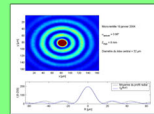


Figure 11. Faisceau généré par le micro-axicon de la Figure 10 ($\alpha = 1.3$ mm)

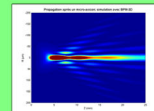


Figure 12. Distribution de phase (PSP) de la propagation d'un faisceau après le micro-axicon de la Figure 10

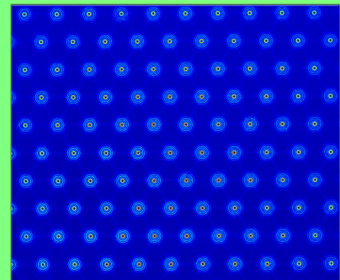


Figure 13. Matrice de faisceaux Bessel ($\alpha = 0.8^\circ$, $z = 15$ mm)

Applications:

- Injection dans une fibre optique
- Collimation à la sortie d'une fibre optique
- Collimation des diodes laser
- Micro-lithographie
- Illumination (flat display panel)
- Imagerie 3D
- Interconnexions optiques (MUX)
- Caractérisation de la phase de faisceaux optiques (Capteur de Shack-Hartmann)
- autres ...

Capteur Shack-Hartmann:

Principe de fonctionnement:

- Une matrice de micro-lentilles divise le faisceau en plusieurs sous-faisceaux
- On mesure la position et le déplacement des points focaux
- À partir des déplacements, on peut reconstruire la phase du faisceau (front d'onde)
- On utilise les polynômes de Zernike pour représenter la surface du front d'onde

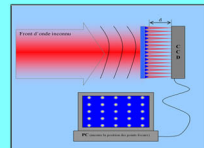


Figure 14. Capteur de Shack-Hartmann

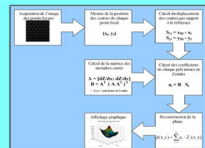


Figure 15. Algorithme de reconstruction modale avec polynômes de Zernike

Résultats expérimentaux:

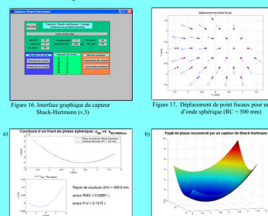


Figure 16. Matrice graphique du capteur Shack-Hartmann ($\lambda = 633$ nm)

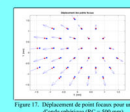


Figure 17. Matrice graphique du capteur Shack-Hartmann montrant la reconstruction du front d'onde sphérique ($\lambda = 633$ nm)

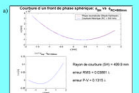


Figure 18. Front d'onde sphérique reconstruit avec un capteur Shack-Hartmann
(1) Comparaison avec le théorique ($\lambda = 633$ nm)
(2) Représentation 3D

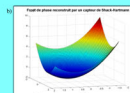


Figure 19. Front d'onde gaussien reconstruit avec un capteur Shack-Hartmann
(1) Comparaison avec le théorique ($\lambda = 633$ nm)
(2) Représentation 3D

Perspectives:

- Améliorer la qualité des profils d'épaisseur sphérique, parabolique et conique
- Optimiser l'efficacité de couplage dans une matrice de fibres optiques (pour l'instant; $\eta \sim 40\%$)
- Continuer le développement du capteur de Shack-Hartmann avec faisceaux Bessel
- Calcul de l'intégrale de diffraction pour des lentilles de profil gaussien et super-gaussien
- autres...